

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИФФУЗИОННОГО РАСПАДА МЕТАСТАБИЛЬНОГО АУСТЕНИТА ДОЭВТЕКТОИДНЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ ПРИ ПРОИЗВОЛЬНОМ ОХЛАЖДЕНИИ

*Ануфриев Н.П., Горлова Е.В., Майсурадзе М.В.,
Хмелёва Ю.А., Юдин Ю.В.*

Руководитель – проф., д.т.н. Юдин Ю.В.

ФГАОУ ВПО УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина

В последние годы повышенный интерес вызывает компьютерное моделирование фазовых и структурных превращений, протекающих как при непрерывном нагреве или охлаждении, так и в изотермических условиях. Подобные расчеты позволяют определить температурно-временные интервалы протекания фазовых превращений при различных режимах термообработки, рассчитать кинетику образования новых фаз, и, следовательно, прогнозировать конечную микроструктуру и механические свойства и оптимизировать технологию термической обработки для достижения заданного уровня требуемых свойств изготавливаемых изделий.

Для расчетов доли превращения в изотермических условиях используется уравнение Колмогорова-Джонсона-Мейла-Аврами [1, 2]:

$$P = 1 - \exp(-k\tau^n), \quad (1)$$

где P – объемная доля образованной фазы; τ – время изотермической выдержки, с; k , n – температурно-зависимые параметры уравнения.

Расчет по данному уравнению для моделирования превращения при непрерывном охлаждении возможен при использовании правила аддитивности Шейла [3].

Исходными данными для расчетов являлись изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита сталей марок 18ХГ, 20ХМ, 12Х2Н2, 35Х, 40Х, 35ХМ [4].

Для сталей 35Х, 35ХМ, 12Х2Н2 из изотермических диаграмм [4] расчетным путем по методике [5] были определены температуры условного начала и конца перлитного превращения для непрерывного охлаждения. Это позволило построить расчетные термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита, которые достаточно близко совпали с экспериментальными диаграммами, приведенными в [4] (рисунок 1).

Так как ферритное превращение, как и перлитное, является диффузионно-контролируемым, то рассмотренный способ расчета может быть использован и для него. Но для этого необходимо знать положение линии условного конца ферритного превращения. Экспериментальное определение ее положения затруднено вследствие того, что применяемые

методы изучения фазовых превращений не позволяют с достаточной уверенностью определить конец ферритного превращения на фоне начавшегося распада аустенита по перлитной ступени.

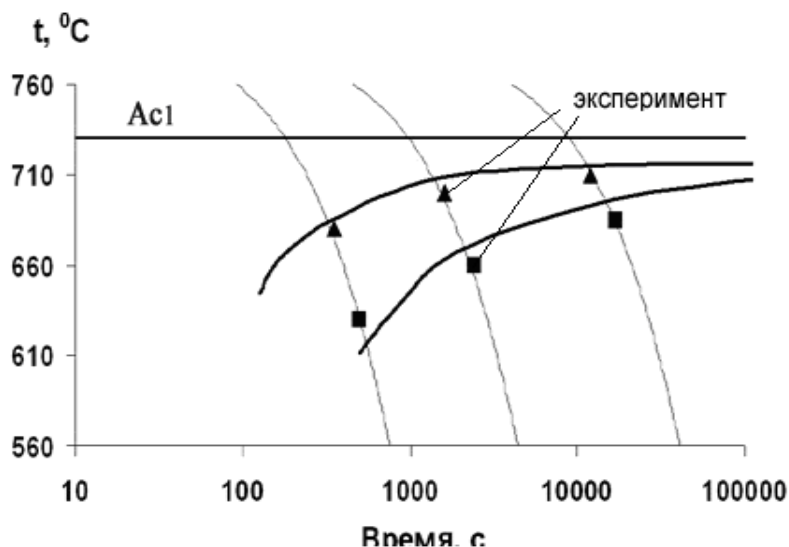


Рисунок 1. Фрагмент расчетной (\square) и экспериментальной (\blacktriangle , \blacksquare) [4] термокинетической диаграммы распада переохлажденного аустенита стали 35X; перлитное превращение

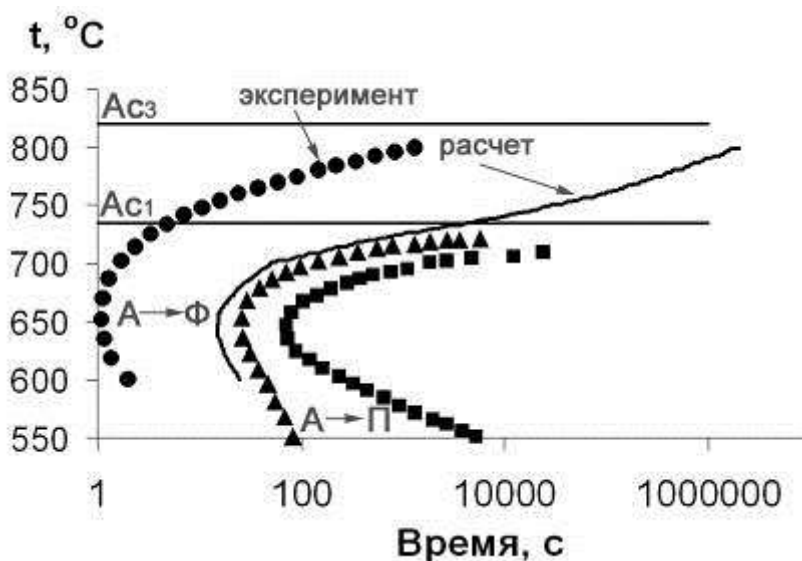


Рисунок 2. Фрагмент расчетной изотермической диаграммы распада переохлажденного аустенита стали 25XГФ в интервале феррито-перлитного превращения

Зная реальные термические траектории охлаждения, реализованные при построении термокинетической диаграммы и экспериментально полученное количество избыточного феррита, методом итераций можно определить вид изотермической диаграммы выделения избыточного феррита для конкретной стали (рисунок 2).

Определить положение линии конца ферритного превращения можно, рассчитав долю образовавшегося феррита для ряда низколегированных доэвтектоидных сталей из [4]. В результате значения расчетной доли образовавшегося феррита для сталей 18ХГ, 20ХМ, 25ХГФ, 12Х2Н2, 35Х, 35ХМ совпали со значениями доли феррита, приведенными в [4], с абсолютной погрешностью менее 3 % для расчетной линии конца ферритного превращения.

Выводы:

1. Если известна экспериментальная изотермическая диаграмма распада переохлажденного аустенита, то методами математического моделирования можно определить положение линий начала и конца диффузионных фазовых превращений термокинетической диаграммы с технически приемлемой точностью (рисунок 1).

2. Используя экспериментальную термокинетическую диаграмму распада переохлажденного аустенита с известными термическими траекториями, можно рассчитать «идеальную» изотермическую диаграмму распада переохлажденного аустенита (рисунок 2). В результате появляется возможность использовать расчетную изотермическую диаграмму распада переохлажденного аустенита для определения температурных и структурных полей при произвольном охлаждении деталей любого сечения.

Используемые литературные источники:

1. Колмогоров А.Н. К статистической теории кристаллизации металлов / А.Н. Колмогоров // Известия АН СССР, 1937. № 3. С. 355...359.
2. Avrami M. Kinetics of phase change II. Transformation-Time Relations for Random Distribution of Nuclei / M. Avrami // Journal of chemical physics, 1940. Vol. 8. № 2. P. 212...224.
3. Ye J.S. On the application of the additivity rule in pearlitic transformation in low alloy steels / J.S. Ye, H.B. Chang, T.Y. Hsu // Metallurgical and Materials Transactions A, 2003. Vol. 34A. № 6. P. 1259...1264.
4. Попова Л.Е. Диаграммы превращения аустенита в сталях и β -раствора в сплавах титана: справочник термиста. / Л.Е. Попова, А.А. Попов // М.: Металлургия. 1991. 503 с.
5. Власова Н.В. Напряженно-деформированное состояние стальных деталей при регулируемом охлаждении / Н.В. Власова, Н.А. Адамова, В.Г. Сорокин // Metallovedenie i Termicheskaya Obrabotka Metallov, 1986. №12. С. 38...41.